

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ И МЕТРИЧЕСКИЙ ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ¹: ПЕРЦЕПТИВНЫЕ И ВОЗРАСТНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

© 2011 г. О. А. Гончаров*, Н. Е. Емельянова**, Ю. Н. Тяповкин***

* Доктор психологических наук, доцент, профессор кафедры психологии,
Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар, Республика Коми;
e-mail: oleggoncharov@inbox.ru

** Старший преподаватель кафедры психологии, там же;
e-mail: ashatana@mail.ru

*** Кандидат психологических наук, доцент,
зав. лабораторией кафедры психологии, там же;
e-mail: yribas@mail.ru

Предложена концепция двух принципов обработки пространственной информации: топологического и метрического. Показано, что топологический принцип обработки имеет широкое распространение на ранних этапах фило-, онто- и перцептогенеза. Разработана компьютерная методика соотношения топологических и метрических выборов. В серии экспериментов установлено, что роль топологического принципа обработки более значима при коротких экспозициях, предъявлении стимулов в периферические поля зрения, а также в детском возрасте.

Ключевые слова: обработка пространственной информации, топологический и метрический принципы, методика топологических и метрических выборов, стадии перцептогенеза.

При построении перцептивных образов предметов в той или иной степени теряется или искажается часть информации об объективных пространственных свойствах. В зависимости от условий восприятия, уровня и глубины когнитивной обработки информации одни свойства передаются достаточно точно, инвариантно, в других допускаются определенные искажения. Применение геометрических моделей для построения перцептивных образов позволяет качественно и количественно выразить соотношение инвариантной и искаженной информации. Еще в XIX веке немецкий математик Ф. Кляйн высказал идею, что разные степени пространственных преобразований представляют собой единый иерархический ряд, соответствующий основным разделам геометрии (цит. по [9]). Наиболее общие пространственные свойства сохраняются при топологических преобразованиях, а дальнейший ряд, последовательно выражающий все более узкие свойства, представлен проективными, аффинными, преобразования-

ми подобия и евклидовыми преобразованиями. Кратко опишем основные типы геометрических преобразований.

Топологические свойства допускают любые пластические деформации, при которых сохраняется целостность фигуры. Более строго, в топологии все объекты можно представить в виде множеств, состоящего из четырех классов точек: внутренних, пограничных, точек соединения и пересечения. Топологические свойства будут сохраняться при любых операциях, которые не допускают переход любой точки из одного класса в другой. Представьте плоскую фигуру, нарисованную на абсолютно пластичной поверхности (например, на бесконечно тягучем резиновом листе). При совершении таких деформаций, как растяжение, сжатие, сгибание, скручивание и т.п., искажается большинство геометрических свойств этой фигуры: прямолинейность, параллельность и величина линий, величина углов. Однако при всех этих деформациях некоторые свойства остаются неизменными: близость, порядок, включенность (окруженность) и непрерывность. Именно эти свойства являются топологическими, и они

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-06-00099а).

будут нарушаться только при разрывах между соседними точками (образование новых фигур) и их наложении друг на друга (складывание и замыкание фигур). В топологическом отношении нет различий между отрезком и любой незамкнутой кривой. Однако замыкание кривой ведет к образованию нового топологического класса фигуры, поскольку при этом две пограничные точки переходят в класс внутренних точек. Топология не допускает преобразование линии в замкнутую фигуру, а плоской фигуры в объемную. Например, топологически неразличимыми будут такие фигуры, как круг, овал, полусфера и любой многоугольник, но окружность, кольцо, сфера и шар будут относиться к другим классам фигур.

В проективных преобразованиях к описанным топологическим свойствам добавляются некоторые более узкие свойства. Проективная геометрия анализирует принципы отображения различных фигур на плоскость. При проектировании фигуры в зависимости от ее ориентации и угла наклона проекционной поверхности искажаются величины линий и углов, параллельные линии преобразуются в сходящиеся, но всегда сохраняется свойство *прямолинейности*. Аффинная геометрия к указанным свойствам добавляет свойство сохранения *параллельности линий*. Например, путем сдвига прямоугольник может быть преобразован в параллелограмм, при этом искажаются величины углов, но сохраняется параллельность противоположных сторон. При преобразованиях подобия изменяются линейные размеры фигур, но остаются неизменными *величины углов*, результатом чего является сохранение подобия общей формы. Евклидовы преобразования предполагают сохранение всех метрических свойств фигур, допускаются только повороты и симметричные отображения.

В психологии иерархический ряд геометрических преобразований преимущественно использовался для описания разных типов пространственных представлений. В частности, Ж. Пиаже на основе трех основных разделов геометрии выделил три типа пространственных представлений: топологические, проекционные и представления евклидова пространства (координатные) [6]. В онтогенезе разные типы представлений развиваются неравномерно. Раньше других формируются наиболее общие топологические представления, затем проекционные и в последнюю очередь — представления о системе координат. Например, в возрасте 3–4 лет ребенок на ощупь легко отличает замкнутую фигуру от открытой, предмет с отверстием внутри от сплошного. Однако он не

способен различать между собой разные замкнутые фигуры (например, треугольник от квадрата), где нужно учитывать даже самые простые метрические свойства: количество и величину углов и сторон, а также направление и параллельность линий.

В дальнейшем топологическим свойствам будет уделено особое внимание. Поскольку они имеют важное значение не только для пространственных представлений, но и для других когнитивных уровней, далее будем говорить в целом о *топологическом принципе (ТП) обработки пространственной информации (ОПИ)*. ТП не допускает оценку никаких метрических свойств и основан на качественном описании пространственных характеристик объектов, к которым относятся выделение границ, замкнутых областей, разрывов, соединений и пересечений различных фигур. В противовес ему анализируются не отдельные типы геометрических преобразований (это создало бы существенные трудности для их перевода в экспериментальные схемы), а в целом *метрический принцип (МП ОПИ)*. Метрическая обработка предполагает любое измерение пространственных свойств, а также сравнение фигур с каким-нибудь эталоном. Под МП можно понимать измерение количества и величины линий и углов, оценку параллельности, прямолинейности и в целом общую оценку подобия формы фигур.

Может показаться, что ТП является очередной попыткой применения абстрактной геометрической модели, и он не имеет связи с реальными когнитивными процессами. На самом деле, ТП имеет самое широкое распространение в обработке зрительно-перцептивной информации, особенно на ранних этапах филогенеза, онтогенеза и перцептогенеза, т.е. тогда, когда еще не подготовлен фундамент для более сложной и трудоемкой оценки метрических свойств объектов. Далее мы постараемся раскрыть конкретные перцептивные механизмы этого принципа.

В филогенезе основа для МП ОПИ закладывается параллельно с дифференциацией сетчатки и формированием фовеального зрения, свойственного только высшим млекопитающим. Наша зрительная система устроена таким образом, что детально описать метрические свойства можно только в том случае, когда изображение попадает в центральную ямку сетчатки. Логично предположить, что на периферии полей зрения обработка осуществляется на основе ТП. В этом легко можно убедиться, если рассматривать какой-нибудь объект (например, кисть руки) краешком глаза. При

этом можно констатировать присутствие объекта, выделить его границы, но нельзя даже посчитать количество пальцев или как-то охарактеризовать направление линий.

По мнению, Ж. Пиаже в онтогенезе топологические представления формируются раньше других [6, 7]. Наша позиция по этому вопросу более радикальна. Мы считаем, что ТП ОПИ не развивается в онтогенезе, не связан с приобретением опыта и функционирует в автоматическом режиме на основе врожденной нервной организации. Если до определенного этапа не удастся выявить критерии топологической обработки, это скорее связано с периодом, необходимым для созревания соответствующих мозговых механизмов, а также с недоступностью применения большинства экспериментальных методик в раннем возрасте.

ТП ОПИ играет важную роль не только на ранних этапах филогенеза и онтогенеза, но и в каждом конкретном акте восприятия. В исследованиях Л.М. Веккера и Б.М. Ломова показано, что в условиях, затрудняющих восприятие (при слабом освещении, сокращении времени экспозиции, симулировании образа и т.п.), процесс построения перцептивного образа растягивается во времени, что позволяет наблюдать отдельные стадии перцептогенеза [1, 2, 5]. На ранней стадии испытуемые видят только аморфное пятно, т.е. отличаются замкнутый контур от открытого. После этого наступает стадия “мерцания формы”: испытуемые в разных пробах могут назвать одну и ту же фигуру кругом, квадратом или многоугольником. Все эти фигуры изоморфны как раз по топологическим свойствам и могут быть преобразованы друг в друга путем пластических деформаций. Ориентировка в метрических свойствах (направление, протяженность, параллельность линий, величина углов и пропорции деталей) проявляется на более поздних стадиях перцептогенеза.

В ряде недавних исследований показано, что ТП ОПИ играет важную роль в быстром узнавании и различении формы объектов. В одном эксперименте Л. Чен предъявлял испытуемым состоящий из однородных элементов паттерн, один из фрагментов которого был заполнен отличающимися элементами, и нужно было как можно быстрее выделить этот фрагмент [8]. В четырех сериях эти элементы отличались от остальных по топологическим, проекционным, аффинным или евклидовым свойствам. Для отличающихся в топологическом отношении элементов среднее время реакции оказалось наименьшим и составило 801 мс, а для остальных условий время реакции составило 968, 1465 и 1941 мс соответственно.

В другом эксперименте испытуемым стереоскопически предъявляли объемную фигуру в виде ломаной, образованной четырьмя линейными сегментами [11]. Затем на экране появлялись еще две фигуры, одна из которых была идентична стандартной, а другая отличалась по евклидовым, аффинным или топологическим свойствам. Нужно было быстро и точно опознать идентичную фигуру. Если две фигуры различались по топологическим свойствам, опознание происходило гораздо быстрее и с минимальным количеством ошибок.

На топологических свойствах основано различение большинства букв алфавита, что оказывает непосредственное влияние на скорость чтения. Анализ величин углов, направлений и длин линий – длительный процесс, а выделение множества различительных точек, определяющих данную букву, протекает намного быстрее. При сравнении букв “О”, “Г”, “А”, “Н” сразу видно, что все они различаются в топологическом отношении: “О” состоит только из внутренних точек; “Г” помимо них содержит две пограничные точки; в “А” имеется две пограничные точки и две точки соединения; в состав “Н” входит четыре пограничных и две соединительные точки. Различение букв “Н”, “К”, “И” требует больших затрат, поскольку они топологически подобны, также как буквы “Г” и “П”. Вероятно, в письменном тексте четкие топологические различия затушевываются, и человек начинает ориентироваться по деталям и метрическим соотношениям каждой буквы, что приводит к значительному замедлению скорости чтения [3].

Другим примером применения знаний о топологии является идентификация лиц. Мимика человека чрезвычайно разнообразна, и при различных выражениях могут изменяться практически все метрические соотношения деталей лица. Вероятно, легкость и быстрота, с которой мы узнаем знакомых людей, обусловлены выделением топологического инварианта основных деталей лица. В теории формирования прототипов показано, что при узнавании лиц мы не ориентируемся на конкретные эталоны или многочисленные детали, а запоминаем некую абстракцию ряда сходных образов часто встречаемых признаков, или *прототип* [10]. Прототип допускает определенные вариации в величинах признаков, внутри которых опознается индивидуальная принадлежность лица, но при этом возникают трудности различения малознакомых лиц со средней степенью выраженности признаков (феномен псевдопамяти). По нашему мнению, прототип

лиц и других сходных объектов создается не механизмом абстрагирования или статистического усреднения часто встречаемых признаков, а определяется некоторым диапазоном вариаций, внутри которого сохраняется топологическое подобие комплекса признаков, образующих данный паттерн. Например, если определенный человек мне кого-то напоминает, здесь предполагается сходство двух лиц по основным топологическим признакам, и в таком случае мне приходится переходить к продолжительному и мучительному анализу метрических соотношений множества деталей.

Можно было бы привести еще ряд примеров ТП в различных когнитивных процессах, но в данной работе ограничимся его применением в изобразительной деятельности детей. Многие авторы отмечают такие особенности детского рисунка, как схематизм и обобщенность. Предположение о том, что в рисовании ребенок использует операции обобщения и схематизации, не соответствует реальным процессам психического развития. У детей топологические представления имеют гораздо больший удельный вес, поэтому, вполне вероятно, что для понимания ребенку вполне достаточно опираться на топологическое сходство рисунка с оригиналом. Например, то, что рисунок “☺” и детьми, и взрослыми однозначно воспринимается как лицо, можно объяснить выделением основных топологических признаков. Анализируя рисунки 3–5-летних детей, Дж. Уиллатс заключает, что в этом возрасте сходство рисунка с оригиналом передается преимущественно на основе топологических свойств близости, разделенности и включенности [12]. В связи с этим отпадает необходимость точной передачи пропорций и метрических свойств, для которых к тому же у детей еще не сформированы конструктивные навыки и фундамент в системе пространственных представлений.

Таким образом, была поставлена *цель* – исследовать соотношение ТП и МП в различных аспектах обработки перцептивно-пространственной информации. Достижение этой цели предполагает реализацию ряда конкретных *задач*:

1) Разработать адекватный метод и конкретную экспериментальную методику, выражающую соотношение двух принципов ОПИ.

2) Изучить соотношение этих принципов в условиях, затрудняющих восприятие. В качестве последних мы остановили выбор на сокращении времени экспозиции и стимуляции периферической зоны сетчатки глаза.

3) Проследить возрастные изменения в соотношении ТП и МП, в частности, на детях дошкольного, младшего и среднего школьного возрастов.

МЕТОДИКА

Исследование роли ТП в ОПИ сталкивается с проблемой выбора адекватного метода. Ж. Пиаже и другие исследователи для изучения топологических представлений применяли достаточно простые методики, чувствительные только для маленьких детей [6, 7]. Среди них можно назвать сравнение на ощупь замкнутых и открытых фигур, копирование последовательности цветных фигур в прямом и обратном порядке, определение последовательности цветных шариков при их вращении в трубке и т.п. Предполагается, что взрослые испытуемые не должны допускать ошибок при выполнении этих заданий.

В связи с этим нам пришлось разработать *новый методический подход*. Его новизна состоит в противопоставлении МП и ТП. Иерархический ряд геометрических преобразований предполагает сохранение более общих свойств в частных пространственных преобразованиях. Например, все топологические свойства должны сохраняться при аффинных трансформациях. Противопоставив два принципа обработки для экспериментального удобства, мы сознательно отошли от этого правила.

Процедура данного подхода предполагает сначала предъявление испытуемому изображения-прототипа. Далее для опознания испытуемому предъявляют не сам прототип, а ряд частично преобразованных из него изображений. При этом одна половина изображений преобразуется из прототипа с сохранением отдельных метрических свойств, а другая – топологических. Затем испытуемого просят опознать ранее предъявлявшееся изображение или найти наиболее похожее на него. Чтобы испытуемый не мог быть уверен, что прототип отсутствует в наборе для опознания, проще всего сократить время предъявления стимулов, и тогда он будет вынужден выбирать одно из предложенных преобразованных изображений. Проведение серии испытаний с рядом изображений-прототипов позволяет создать биполярную шкалу метрических–топологических выборов. Данный подход позволяет изучать не отдельные стороны МП и ТП ОПИ, а только их соотношение. Мы допускаем, что эти принципы могут функционировать независимо друг от друга, но используемая биполярная шкала оставляет возможность исследования только реципрокных отношений между

ними: чем сильнее выражен один принцип, тем слабее проявляется другой. Количество баллов по данной шкале будет служить показателем соотношения ТП и МП при различных экспериментальных условиях.

На основе данного подхода с помощью специальной компьютерной программы “Visual Illusion 2: Перспектива” [4] мы разработали *методику соотношения топологических и метрических выборов (ТВ и МВ)*. В процедуре всей серии исследований использовался ноутбук со стандартным экраном с диагональю 15.4”. Методика состоит из 20 испытаний, в каждом предъявляется одно из 20 изображений-прототипов. Экспозиция стимулов устанавливается в соответствии с задачей исследования. Непосредственно вслед за прототипом на экран подается маскирующее изображение, чтобы пресечь возможность сканирования испытуемым послеобраза на сетчатке глаза. После этого на экране появляются шесть изображений в виде таблицы 3×2. Испытуемому дается инструкция выбрать предъявлявшееся ранее изображение или наиболее похожее на него. Среди этого набора три изображения преобразованы из прототипа по МП, а другие три – по ТП. За выбор топологически преобразованного изображения начисляется 1 балл, а метрически – 0 баллов. Соответственно максимальное количество баллов составляет 20. Чем больше баллов набирает испытуемый по данной шкале, тем сильнее у него выражен ТП ОПИ.

Все изображения были созданы в графическом редакторе “CorelDRAW”, а затем преобразованы в растровые изображения. Они были построены из черных линий толщиной 0.7 мм, вписаны в белый квадрат со стороной 50 мм и предъявлялись на монотонном светло-сером фоне экрана. При создании преобразованных по МП изображений мы старались ориентироваться на их сходство с прототипом по общей форме, направлению линий и величине углов. Отличие от прототипа заключалось во внедрении дополнительных элементов, разрывах или соединениях линий. В преобразованных по ТП изображениях нарушалось сходство общей формы с прототипом. Например, прямые линии могли заменяться на ломаные, круги – на шестиугольники, квадраты, или ромбы. Использовались также другие пластические деформации, но мы строго следили за сохранением общего количества элементов, не допускали разрывов, соединений и наложений линий. Несколько примеров изображений-прототипов и их преобразований можно увидеть в Приложении. В качестве маскирующего изображения использовалась решетка размером 50 × 50 мм, состоящая

из вертикальных и горизонтальных черных линий толщиной 0.7 мм на белом фоне.

Вся программа исследования состояла из трех экспериментов. В **эксперименте 1** изучалось влияние времени предъявления стимула на соотношение ТВ и МВ. *Гипотеза*: при сокращении времени экспозиции должно увеличиться число ТВ. Для определения оптимального диапазона экспозиции стимулов предварительно была проведена серия калибровочных испытаний с шагом экспозиции 25 мс, в которых изображение-прототип присутствовало в наборе для опознания. При экспозиции 50 мс испытуемые не были уверены в правильном опознании эталона и допускали ошибки примерно в 20% случаев, т.е. данная экспозиция находится в околороговой зоне опознания. При экспозиции 250 мс ошибки практически отсутствовали. Таким образом, в окончательной серии мы остановились на предъявлении стимульного материала при трех условиях экспозиции: 50, 150 и 250 мс. При каждом условии использовался один и тот же набор изображений. Чтобы избежать запоминания ответов и их использования в последующих условиях, при каждой экспозиции изменялся порядок предъявления изображений, а паузы между отдельными условиями заполнялись интерферирующим заданием. На выполнение каждого условия испытуемый тратил не более пяти минут. Для предотвращения эффектов последовательности предъявления трех условий экспозиции применялась схема полного кроссиндивидуального уравнивания, т.е. каждому испытуемому предъявлялся только один из шести возможных порядков предъявления трех условий.

В **эксперименте 2** мы изучали соотношение ТВ и МВ в зависимости от предъявления стимулов в центральную и периферическую зону сетчатки глаза. *Гипотеза*: при периферическом зрении должно увеличиваться число ТВ. Испытуемые выполняли это задание монокулярно ведущим глазом, который предварительно определялся пробой на бинокулярное смещение. При обоих условиях испытуемые были инструктированы фиксировать взгляд прямо по центру экрана на расстоянии около 0.5 м. Обе серии состояли из 20 изображений-прототипов, различавшихся порядком их предъявления. При центральном условии изображения появлялись в центре экрана в белом квадрате со стороной 50 мм. При периферическом условии изображения появлялись в одном из четырех углов экрана в квазислучайном порядке. Испытуемый не знал заранее, где появится стимул, и не успевал перевести изображение в центральное поле зрения. Смещение центра изображения от центра экрана влево или вправо

Таблица 1. Половозрастные характеристики испытуемых

Эксперимент	Группы	Кол-во	Пол		Возраст		
			муж	жен	средний	<i>min</i>	<i>max</i>
1. Экспозиция		50	10	40	18.21	17.2	20.5
2. Центр–периферия		27	0	27	19.35	18.0	22.4
3. Возрастное исследование	д/с	34	13	21	6.23	5.0	7.0
	II класс	26	14	12	8.30	7.5	8.9
	IV класс	28	16	12	10.34	9.5	10.9
	VI класс	28	7	21	12.73	12.1	13.4

составляло 130 мм, а вверх или вниз – 100 мм, а абсолютное смещение по диагонали составило 164 мм. Зрительный угол смещения центра изображения был равен 18° , что более чем в два раза превышает конус четкого видения (7°), и изображение проецируется за пределы желтого пятна сетчатки (по крайней мере, в начале просмотра).

Определенные трудности связаны с адекватным соотношением экспозиции стимулов в центр и на периферию сетчатки глаза. При периферическом зрении при экспозиции 50 мс испытуемые практически ничего не успевали заметить. В калибровочных испытаниях выявлено, что при экспозиции 150 мс на периферии наблюдается примерно такой же процент правильного опознания изображений, как и при центральной экспозиции 50 мс. Эти значения экспозиции мы выбрали для основной серии испытаний. Порядок выполнения двух условий эксперимента чередовался по испытуемым.

Эксперимент 3 представлял собой онтогенетическое исследование, в котором изучалось влияние возраста испытуемых на соотношение ТВ и МВ. В исследовании принимали участие четыре группы детей: подготовительная группа детского сада, второй, четвертый и шестой класс средней школы. *Гипотеза:* по мере взросления должно увеличиваться число МВ. Процедура была такой же, как и в эксперименте 1, за исключением того, что дети выполняли задание только при экспозициях 50 и 150 мс.

Участники исследования. Во всех трех экспериментах приняли участие 193 человека. Их половозрастные характеристики приведены в табл. 1. В первом эксперименте приняли участие 50 студентов специальности «Психология» первого курса Сыктывкарского госуниверситета. Во втором эксперименте участвовали 27 студентов-второкурсников. Выборки этих двух экспериментов были полностью непересекающимися. Зрение испытуемых было нормальным или скорректированным до нормального. Все студенты принима-

ли участие в исследовании на добровольной основе в свободное от учебы время. С задачами и гипотезами исследования испытуемых знакомили только после проведения эксперимента. В онтогенетическом исследовании (эксперимент 3) приняли участие 116 детей четырех возрастных групп: 1) подготовительная группа детского сада, 2) второй, 3) четвертый и 4) шестой классы средней школы. Никакого специального отбора по успеваемости или иным критериям не проводилось.

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью программы “Statistica 6.0” методом дисперсионного анализа. В зависимости от стоящих задач применялись различные техники данного метода: однофакторный, многофакторный, дисперсионный анализ с повторными измерениями, процедуры проверки однородности дисперсий и множественных парных сравнений средних (*Post-Hoc* анализ).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во всех экспериментах среднее число ТВ оказалось относительно небольшим, у отдельных испытуемых оно довольно редко превышало значение 10 баллов. Скорее всего, это объясняется особенностями стимульного материала, сильно выраженными отличиями топологически преобразованных изображений от прототипов. Возможно, в дальнейшем нам следует доработать стимульный материал методики, чтобы повысить общую вероятность ТВ. Несмотря на это, результаты получились вполне убедительными, почти во всех случаях ранее выдвинутые гипотезы подтверждаются на высоком уровне статистической значимости.

Значения по шкале ТВ и МВ при различных условиях в экспериментах 1 и 2, а также результаты статистической обработки приведены в табл. 2. В первом эксперименте фактор времени экспозиции стимулов оказал значимое влияние на соотношение ТВ и МВ: при увеличении экспозиции

Таблица 2. Число ТВ в зависимости от экспозиции стимулов (1) и предъявления стимулов в центр и на периферию сетчатки глаза (2)

Условия экспериментов		<i>n</i>	Среднее	σ	<i>F</i> -критерий; уровень значимости
1	50 мс	50	4.54	2.20	$F(2; 98) = 6.446;$ $p = 0.0023$
	150 мс		3.64	1.85	
	250 мс		3.52	1.89	
2	Центр	27	5.22	2.33	$F(1; 26) = 4.752;$ $p = 0.0385$
	Периферия		6.04	2.08	

Таблица 3. Число ТВ в четырех группах детей при экспозициях 50 и 150 мс

Возраст. группы	<i>n</i>	Экспозиция 50 мс		Экспозиция 150 мс		<i>F</i> -критерий	Уровень значимости
		Среднее	σ	Среднее	σ		
Д/с	33	7.97	3.31	6.47	3.16	10.01	0.0034
II класс	26	7.35	2.35	5.58	2.40	14.68	0.0008
IV класс	28	6.82	2.29	5.86	1.88	3.57	0.0697
VI класс	28	6.25	1.92	5.54	2.06	2.27	0.1433
Всего	115	7.13	2.61	5.90	2.47	26.44	<0.0001

возрастает число МВ ($p = 0.0023$). Парное сравнение средних по методу Шеффе показало, что результаты при экспозиции 50 мс значимо отличаются от значений при экспозициях 150 мс ($p = 0.0178$) и 250 мс ($p = 0.006$). Различие при экспозициях 150 и 250 мс оказалось незначимым ($p = 0.928$).

Во втором эксперименте условия центрального и периферического зрения также оказали значимое влияние на соотношение ТВ и МВ ($p = 0.0385$). Несмотря на то, что на периферии экспозиция была на 100 мс больше, чем в центре сетчатки, число ТВ при этом условии оказалось почти на 1 балл выше. Почему в эксперименте 2 результаты в целом оказались несколько выше, чем в эксперименте 1? Возможно, некоторый вклад в это внесли индивидуальные различия, но главную роль мы отводим тому, что во втором эксперименте испытуемые выполняли задания при монокулярном зрении.

Результаты возрастного исследования представлены в табл. 3.

Сначала мы сопоставили результаты всех детей при разных экспозициях (в табл. 3 нижняя строка). При экспозиции 50 мс число ТВ оказалось значимо больше, чем при экспозиции 150 мс ($p < 0.0001$). Затем мы сопоставили результаты внутри отдельных возрастных групп. Различия оказались значимыми в группе детского сада ($p = 0.0034$) и II класса с/ш ($p = 0.0008$), в группе IV соответствовали уровню статистической тенденции ($p = 0.0697$), а в VI классе не достигли

значимости. Исходя из этого, можно заключить, что влияние времени экспозиции на соотношение ТВ и МВ особенно сказывается у младших детей (на ранних этапах онтогенеза), а с возрастом оно уменьшается. В целом эти данные подтверждают вывод эксперимента 1: число ТВ снижается при увеличении экспозиции (на поздних стадиях ОПИ).

На следующем этапе мы проанализировали результаты между возрастными группами. Из табл. 3 видно, что при экспозиции 50 мс с возрастом наблюдается плавное снижение числа ТВ, но оно достигает лишь уровня статистической тенденции ($F(3; 111) = 2.47; p = 0.065$). При экспозиции 150 мс результаты получились более запутанными, и возрастная динамика оказалась незначимой ($F(3; 112) = 0.96; p = 0.416$). На заключительном этапе мы решили добавить к результатам детей данные 50 студентов из эксперимента 1 (исключая результаты при экспозиции 250 мс) на том основании, что оба исследования выполнялись в одинаковых условиях. Общие результаты по детям и студентам представлены в соответствующем графике на рис. 2. При такой процедуре анализ возрастной динамики показал высоко значимое снижение числа ТВ при экспозициях и 50 мс ($F(4; 160) = 11.70; p < 0.0001$), и 150 мс ($F(3; 111) = 9.23; p < 0.0001$). На графике резкое снижение значений наблюдается в интервале от VI класса до студентов. На этом основании можно предположить, что наиболее интенсивный переход к преобладанию МП ОПИ начинается в

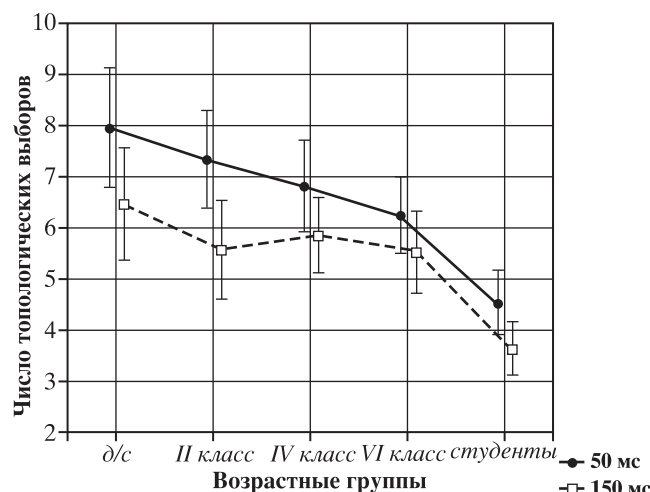


Рис. График числа ТВ при экспозициях 50 и 150 мс в пяти возрастных группах (включая студентов)

среднем школьном возрасте. В целом по результатам онтогенетического исследования можно заключить, что с возрастом роль ТП ОПИ снижается.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом методика соотношения ТВ и МВ показала высокую эффективность для выявления способов ОПИ в различных экспериментальных условиях. Однако вариабельность ответов испытуемых была довольно большой, и в дальнейших исследованиях для повышения надежности данную методику следует немного скорректировать. В частности, можно увеличить число испытаний (создать дополнительные изображения-прототипы), ввести количественные критерии отличий преобразованных изображений от прототипов, ввести повторные пробы с одинаковыми изображениями в начале и конце каждой серии и т.п.

Результаты трех экспериментов статьи полностью подтвердили выдвинутые гипотезы. Роль ТП ОПИ повышается в условиях, затрудняющих восприятие. Одним из таких условий было сокращение времени экспозиции, другим – предъявление информации в периферическую зону сетчатки. В обоих случаях возникает дефицит информации для анализа метрических отношений между деталями изображений, и испытуемый вынужден опираться на самые общие пространственные свойства, касающиеся целостности объектов, порядка и включенности их элементов. Отсутствие значимых различий в числе ТВ при экспозициях 150 и 250 мс указывает на то, что этого времени вполне достаточно для анализа метрических свойств. ТП ОПИ оптимально приспособлен для быстрых

реакций живых организмов при минимальном количестве зрительной информации. Вероятно, он имеет широкое распространение на ранних ступенях филогенетического развития. Это предположение подтверждается результатами возрастного исследования, в котором показано, что с возрастом увеличивается роль МП в ОПИ.

ВЫВОДЫ

1. Предложен новый метод исследования топологического и метрического принципов обработки пространственной информации и на его основе разработана конкретная экспериментальная методика, выражающая соотношение этих принципов в различных экспериментальных задачах.

2. Топологический принцип обработки пространственной информации играет важную роль на ранних этапах перцептогенеза в условиях дефицита поступающей информации. В частности, при сокращении времени экспозиции и стимуляции периферической зоны сетчатки глаза увеличивается число топологических выборов. При улучшении условий восприятия увеличивается доля обработки по метрическим свойствам.

3. В индивидуальном развитии значение топологического принципа обработки пространственной информации постепенно снижается от дошкольного к среднему школьному возрасту.

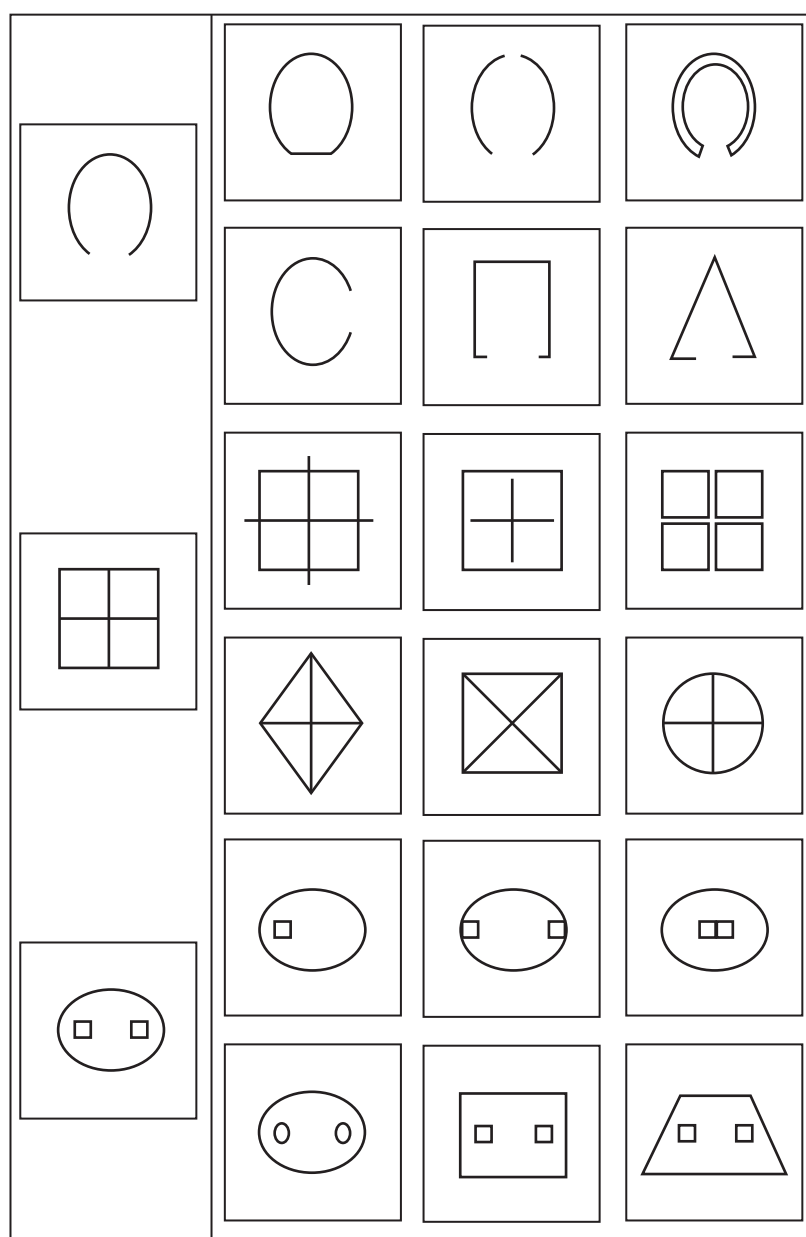
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веккер Л.М. Психические процессы. Т. 1. Л.: Изд-во ЛГУ, 1974.
2. Веккер Л.М., Бровар А.В., Владимирова Н.М., Михайлова И.А. О соотношении структурных и статистических характеристик образов восприятия разной степени константности // Вопросы психологии. 1971. № 1. С. 36–49.
3. Гончаров О.А. Восприятие пространства и перспективные построения. СПб.: СПбГУ, 2007.
4. Гончаров О.А., Емельянова Н.Е., Логинов И.Н. Компьютерная программа для экспериментально-психологических исследований восприятия пространства "Visual Illusion 2: Перспектива". М.: ВНИИЦ, 2007. № регистрации: 502007009943.
5. Ломов Б.Ф. Человек и техника. М.: Сов. радио, 1966.
6. Флейвелл Дж. Генетическая психология Ж. Пиаже. М.: Просвещение, 1967.
7. Ченцов Н.Ю., Симерницкая Э.Г., Обухова Л.Ф. Нейропсихологический анализ нарушений пространственных представлений у детей и взрослых // Вестник МГУ. Сер. 14. 1980. № 3. С. 63–71.

8. *Chen L.* Topological perception: A challenge to computational approaches to vision // *Connectionism in Perspective* / Eds. R. Pfeifer et al. Amsterdam: Elsevier, 1989. P. 317–329.
9. *Hitchin N.* Projective geometry (b3 course 2003). URL: http://www2.maths.ox.ac.uk/~hitchin/hitchinnotes/Projective_geometry.
10. *Solso R.L., McCarthy J.E.* Prototype formation of faces: a case of pseudomemory // *British Journ. of Psychology*. 1981. V. 72. P. 499–503.
11. *Todd J.T., Chen L., Norman J.F.* On the relative salience of Euclidean, affine, and topological structure for 3-D form discrimination // *Perception*. 1998. V. 27. P. 273–282.
12. *Willats J.* Art and representation. Princeton: Princeton University Press, 1997.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Примеры изображений, предъявлявшихся в методике на соотношение ТВ и МВ. Слева три изображения-прототипа: “дуга”, “окно” и “глаза”, а справа преобразованные изображения. В верхних рядах сохраняется сходство с прототипом по метрическим свойствам, а в нижних – по топологическим.



TOPOLOGICAL AND METRIC PRINCIPLES OF SPATIAL PROCESSING: PERCEPTUAL AND AGE-RELATED PECULIARITIES

O. A. Goncharov*, N. E. Emel'yanova, Y. N. Tyapovkin*****

**Sc.D. (psychology), assistant professor, professor of psychology chair,
Syktyvkar State University, Komi Republic*

***Senior lecture of psychology chair, the same place,*

****PhD, assistant professor, head of laboratory of psychology chair, the same place*

The conception of two principles of spatial processing: topological and metric is proposed. Topological principle of processing is shown to be widely spread at early stages of phylo-, onto- and perceptogenesis. Computer procedure for topological-metric-choices ratio is elaborated. In the series of experiments it was set that the role of topological principles of processing is higher in short expositions, when stimuli are presented in peripheral field of vision and in childhood.

Key words: spatial processing, topological and metric principles, topological-metric-choices procedure, stages of perceptogenesis.